***Sitophilus oryzae*'de (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae)**
DELTAMETHRİN DİRENCİNİN KALITIMI

Osman Nuri YARAŞIR

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sitophilus oryzae'de (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae) DELTAMETHRİN DİRENCİNİN KALITIMI

Osman Nuri YARAŞIR
0009-0000-5502-2205

Doç. Dr. Hilal SUSURLUK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Sitophilus oryzae'de (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae) DELTAMETHRİN DİRENCİNİN KALITIMI

Osman Nuri YARAŞIR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bitki Koruma Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hilal SUSURLUK

Laboratuvar koşullarında, herhangi bir pestisite maruz kalmamış hassas *Sitophilus oryzae* L. (Col: Curculionidae) popülasyonu, Petri kabı yöntemiyle uygulanan ve bireylerin %70'inin ölümüne neden olan bir deltamethrin konsantrasyonu ile yapay seleksiyona tabi tutulmuştur. Ardışık altı seleksiyon süreci boyunca, deltamethrin'in LC_{50} ve LC_{90} değerleri belirlenmiştir. Altıncı seleksiyon sonunda, elde edilen dirençli popülasyonun LC_{50} ve LC_{90} düzeylerindeki direnç oranları, hassas popülasyonla karşılaştırıldığında sırasıyla 111.99 ve 774.73 kat artış göstermiştir. Dirençli (F5) ve hassas (F0) populasyonlar arasında gerçekleştirilen resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F1 neslinde, deltamethrin direncinin kalıtımında dişi bireyden kaynaklanan bir etkinin söz konusu olduğu ve bu direncin eksik çekinik bir karakterle aktarıldığı belirlenmiştir. F1 dölü ile yapılan RSR tip geri çaprazlamalardan elde edilen ölüm oranlarına göre, 50 ppm konsantrasyonda deltamethrin direncinin poligenik, diğer tüm konsantrasyonlarda ise monogenik kalıtımına işaret eden sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deltamethrin, Kalıtım, Direnç, *Sitophilus oryzae*
2025, xiv + 39 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INHERITANCE OF DELTAMETHRIN RESISTANCE IN *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae)

Osman Nuri YARAŞIR

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Plant Protection

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hilal SUSURLUK

Under laboratory conditions, a susceptible population of *Sitophilus oryzae* L. (Col: Curculionidae) that had not been exposed to any pesticides was subjected to artificial selection using a deltamethrin concentration that caused 70% mortality, applied via the Petri dish method. During six consecutive selection processes, the LC_{50} and LC_{90} values of deltamethrin were determined. By the end of the sixth selection cycle, the resistance ratios of the resistant population's LC_{50} and LC_{90} levels, compared to the susceptible population, increased by 111.99-fold and 774.73-fold, respectively. Reciprocal crosses performed between the resistant (F5) and susceptible (F0) populations revealed that deltamethrin resistance was influenced by a maternal effect and was inherited as an incompletely recessive trait. Mortality rates obtained from RSR-type backcrosses with the F1 generation indicated that deltamethrin resistance was polygenic at a concentration of 50 ppm, while at all other tested concentrations, the resistance exhibited monogenic inheritance.

Key words: Deltamethrin, Inheritance, Resistance, *Sitophilus oryzae*
2025, xiv + 39 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Bu lisansüstü tez çalışmamda hazırlanmasında emeği geçen birçok değerli kişiye teşekkür etmek isterim.

Öncelikle, araştırma sürecindeki yol gösterici katkıları, tez konusunun şekillenmesinde değerli bilgi ve deneyimleriyle bana her zaman destek olmuş, tezimin bilimsel niteliğini artırmış Danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hilal SUSURLUK'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma sürecim boyunca bilgi birikiminde ve laboratuvar olanaklarında bana destek olmuş değerli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Alper SUSURLUK'a, ve teknik destek sunan Nematoloji laboratuvarı ekibine teşekkür ederim.

Çalışmamın uygulaması aşamasında yanımda olan, moral ve motivasyon anlamında desteğini hissettiren değerli lisansüstü arkadaşlarım Arş. Gör. Alperen Kaan BÜTÜNER, Eren ERGENE ve Melda KIRIKÇI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili babam Hayati YARAŞIR ve sevgili annem Figen YARAŞIR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Onların sabrı, anlayışı ve desteği olmasaydı, bu süreci tamamlamam mümkün olmazdı.

Osman Nuri YARAŞIR
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET viii
ABSTRACT ix
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
3. MATERYAL ve YÖNTEM 11
3.1. *Sitophilus oryzae* 11
3.1.1. Sistematikteki yeri 13
3.2. Kullanılan İnsektisit 13
3.2.1.Deltamethrin 13
3.2.2. Deltamethrin konsantrasyonlarının hazırlanması 14
3.3. Yapay Seleksiyonlar 16
3.3.1. Yapay seleksiyon kültürlerinin yetiştirildiği ortam 17
3.4. Cinsiyet Ayrımı 18
3.5. Resiprokal Çaprazlamalar 19
3.6. İstatistiksel Analiz 21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 22
4.1. Seleksiyon Çalışmaları 22
4.2. Resiprokal Çaprazlamalar 25
5. SONUÇ 31
KAYNAKLAR 33
ÖZGEÇMİŞ 39

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
g	Gram
L	Litre
ml	Mililitre
ppm	Milyonda Bir Kısım
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
♂	Erkek
♀	Dişi
χ^2	Kikare

Kısaltmalar	Açıklama
EC	Emülsiye Konsantre
WP	Islanabilir Toz
CS	Kapsül süspansiyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.1.	*Sitophilus oryzae* hayat çemberi……..	3
Şekil 3.1.	Burs Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Nematoloji laboratuvarına ait görüntü……	11
Şekil 3.2.	*Sitophilus oryzae* kültürünün yetiştirilmesi……..	12
Şekil 3.3.	Denemede kullanılan insektisit…….	14
Şekil 3.4.	5000ppm 250 ml stok deltamethrin konsantrasyonu……	15
Şekil 3.5.	Düşük ppm konsantrasyonlarını muhafaza etmek için kullanılan 50 ml falkon tüpler……...	15
Şekil 3.6.	Denemelerde kullanılan (a) otomatik pipet ve (b) parafilm….	16
Şekil 3.7.	Yapay seleksiyon için Petri kaplarına konulmuş erginler……	17
Şekil 3.8.	Dirençli generasyonların saklandığı etüv…….	18
Şekil 3.9.	*Sitophilus oryzae* dişisi ve erkeği…….	19
Şekil 3.10.	Resiprokal çaprazlamalarda kullanılan kavanozlar……..	20
Şekil 4.1.	Hassas ve seleksiyon popülasyonlarının deltamethrin'e karşı gösterdiği logaritmik doz-probit doğruları……	24
Şekil 4.2.	*Sitophilus oryzae*'de R ve S popülasyonlarında ve iki popülasyon arasındaki resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F_1 dişilerinde deltamethrin için gözlenen doza bağlı ölüm oranı eğrileri……	28
Şekil 4.3.	*Sitophilus oryzae*'de R ve S popülasyonlarında ve iki popülasyon arasındaki resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F_1 ve F_2 dişilerinde deltamethrin için gözlenen doza bağlı ölüm oranı eğrileri……	29

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 4.1.	Hassas ve seleksiyon popülasyonlarının deltamethrin'e karşı gösterdiği probit-ölüm verileri ve direnç oranları…….	23
Çizelge 4.2.	Resiprokal F_1 ve F_2 döllerinin deltamethrin'e karşı gösterdiği probit-ölüm verileri ve direnç oranları…….	25
Çizelge 4.3.	*Sitophilus oryzae*'de 5. Seleksiyon popülasyonu (F5) ile yapılan RSR çaprazlamasında gözlenen ve beklenen ölüm oranları, kikare ve tek gen hipotezini belirlemek için kullanılan *P* değerleri……...	26
Çizelge 4.4.	*Sitophilus oryzae*'de 5. Seleksiyon popülasyonu ile yapılan SRS çaprazlamasında gözlenen ve beklenen ölüm oranları, kikare ve tek gen hipotezini belirlemek için kullanılan *P* değerleri…….	27

1. GİRİŞ

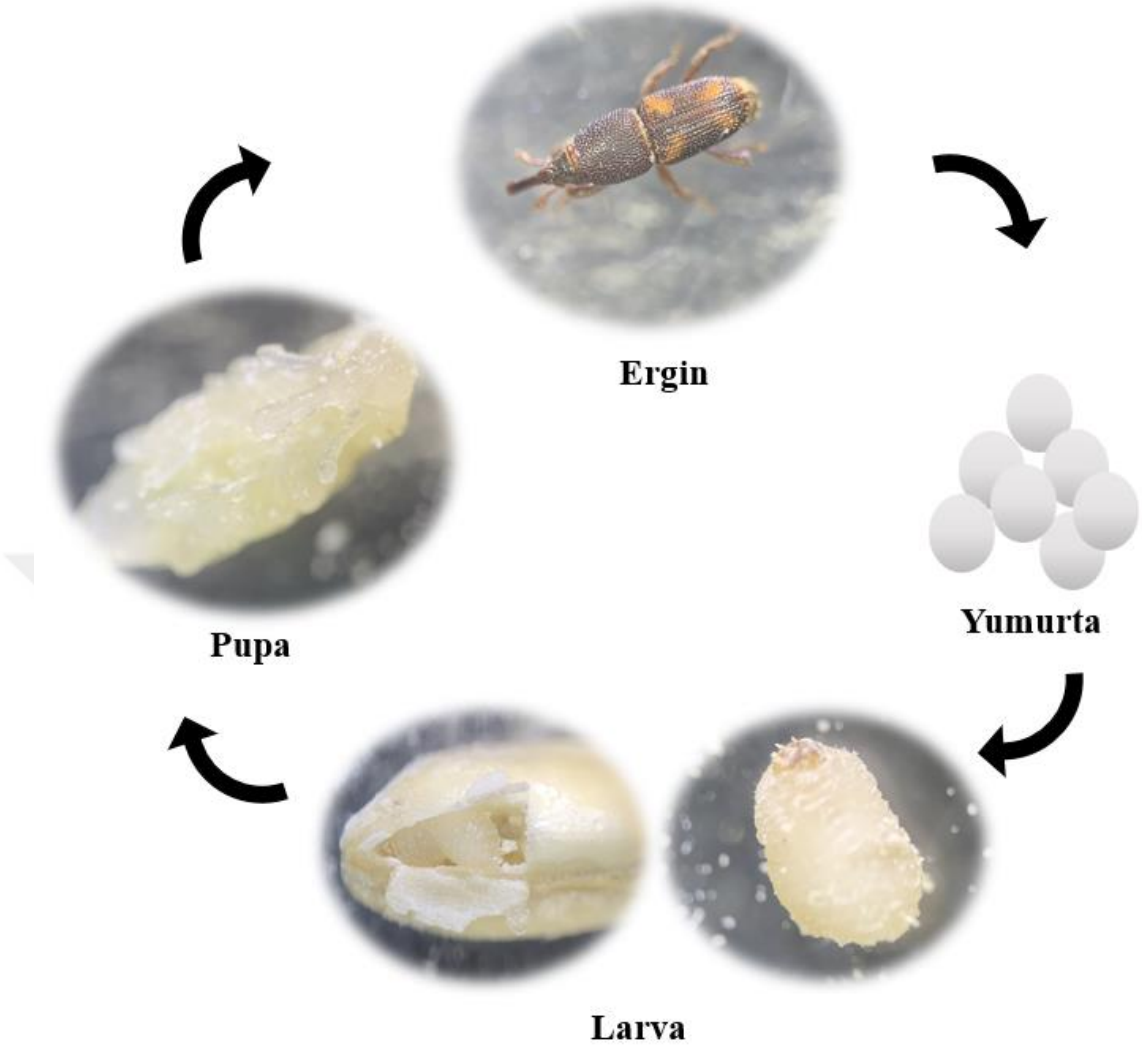
Tarım, insanlık tarihi boyunca toplumların temel besin kaynaklarının elde edilmesinde en önemli araçlardan biri olmuştur. Yerleşik hayatın başlamasıyla birlikte insanlar doğadan fayda elde etmek için çeşitli tarımsal üretim teknikleri geliştirmişlerdir (Weisdorf, 2005). Geliştirilen teknikler teknolojinin de gelişmesiyle evrimleşerek üretimi ve işlenebilen tarım alanlarını arttırmıştır (Mazoyer ve Roudart, 2006; Zvelebil ve Pluciennik, 2011). Bu bağlamda elde edilen kaynaklar artmaya başlamış ve beraberinde gelen tarımın gelişimi sayesinde ortaya çıkan fazla gıda, nüfus artışını mümkün kılmıştır (Wang vd., 2013; Pawlak ve Kołodziejczak, 2020). Öyle ki günümüzde dünyadaki insan nüfusunun 8 milyarı aştığı bilinmektedir (Jain ve ark., 2023). Dünya nüfusunun artması şüphesiz gıdaya olan ihtiyacı da giderek arttırmaktadır (Gilland, 2002; Pimentel vd., 1997). Bu arzın karşılanabilmesi yine tarımsal üretimin verimliliğiyle sağlanabilir.

Tahıllar kolay üretilebilir olması ve besin değerlerinin yüksek olması nedeniyle yıllardır insanoğlunun en çok kullandığı besin kaynaklarından birisi olmuştur (Awika, 2011). Tarımın sürdürülebilirliği ve elde edilen ürünlerin muhafaza edilip korunabilmesi için hasat sonrası depolama koşullarına ihtiyaç vardır. Geçmişten günümüze insanoğlu tarımsal ürünlerini toprak altında, kilden kaplarda, ambar ve silolar gibi depolama alanlarında çeşitli yöntemler kullanarak muhafaza etmişlerdir (H. Z. Levinson ve A. R. Levinson, 1985; Ünar, 2021). Bu sayede elde edilen ürünlerin ömrü uzatılmıştır.

Depolar tarımsal açıdan gıdalar için her ne kadar fayda sağlamış olsa da depo zararlıları için bir yaşam alanı haline gelebilmektedir (Munro, 1966; Rajendran, 2020; Bütüner ve Susurluk, 2023). Depo zararlıları genellikle hasat sonrası tarımsal ürünler üzerinde beslenip kayıplara neden olan canlılardır. En çok kayba neden olabilen depo zararlıları arasında böcekler, akarlar, kemirgenler ve mikroorganizmalar bulunmaktadır (Guru vd., 2022; Stathas vd., 2023). Özellikle mısır, buğday ve pirinç gibi depolanmış tahıllarda her yıl ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre değişmekle birlikte ortalama %10'u aşan zarar ile böcekler, dünyada ekonomik anlamda önemli düzeylere ulaşabilen zararlılar arasında yer almaktadır (Phillips ve Throne, 2010; Suleiman ve Rosentrater, 2022; Stathas vd.,

2023). Bu veriler, depo zararlılarıyla mücadele etmenin, hem gıda güvenliği üzerindeki etkisi hem de verim kaybını azaltmak için oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

Depo zararlıları içerisinde bulunan pirinç biti *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Col: Curculionidae), dünya üzerinde pek çok ülkeye yayılmış olup özellikle tahıllarda (pirinç, buğday, mısır, arpa gibi) yaygın ve en çok zarara yol açan türlerinden birisidir (Doherty vd., 2023). Holometabola yani tam başkalaşım geçirerek hayat çemberini yumurta, larva, pupa ve ergin olarak dört aşamada tamamlar (Şekil 1.1). Gelişme süresi yani yumurtadan ergine kadar olan süre, sıcaklık ve neme bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Sıcak ve nemli koşullarda bu süre ortalama 27 gün iken daha serin koşullarda 45 günü geçebilmektedir. Ergin dişi bireyler çiftleştikten sonra yumurtalarını tahıl tanesi üzerinde delik açarak genellikle her tahıl tanesine bir adet yumurta bırakır. Ergin bir dişi günde ortalama 4-6 adet yumurta, yaşamı boyunca ise 400'e kadar yumurta bırakabilmektedir. Yumurtalar parlak beyaz renkte ve oval biçimdedir. Yumurtaların açılma süresi ortalama 5-6 gündür. Yumurtadan çıkan larvalar beslendiği tahıl tanesi içerisini boşaltarak ortalama 11-18 gün arasında gelişir. Gelişimini tamamlayan larvalar tahıl tanesi içerisinde pupaya dönüşür. Pupa evresi ortalama 5-8 gün sürebilir. Pupa evresini tamamladıktan sonra ergin olan bireyler tahıl tanesini terk eder ve diğer tahıl tanelerinde beslenmeye devam ederler. Erginler uygun koşullarda 3 ay gibi uzun bir süre yaşayabilir ve bu sürede çiftleşerek yeni nesiller oluşturmaya devam ederler (Bhuiyah vd., 1990; Campbell, 2005; Choudhury ve Chakraborty, 2014; Mansoor-ul-Hasan vd., 2017; Devi vd., 2017; Akhter vd., 2017; Okram ve Hath, 2019; Rojasara ve Patel, 2020).



Şekil 1.1. *Sitophilus oryzae* hayat çemberi

Depo zararlıları ile mücadelede fiziksel-mekanik, biyolojik, kimyasal ve entegre mücadele gibi yöntemler kullanılmaktadır (Shankar ve Abrol, 2012; Guru vd., 2022; Bütüner ve Susurluk, 2023; Bütüner vd. 2024; Yaraşır vd., 2024). Bu yöntemler depolanmış ürünlerde hasar oluşturabilecek zararlıları önlemek veya en aza indirmek amacıyla yapılır. Kimyasal mücadele günümüzde kolay uygulanabilir ve hızlı sonuç vermesi sebebiyle en çok kullanılanlar arasındadır. Tarımsal zararlılarla mücadelede kimyasal insektisitlerin kullanımı, 20. yüzyılın ortalarından itibaren ürün verimliliğini artırmak amacıyla hız kazanmıştır (Oberemok vd., 2015; Zhou vd., 2024).

Kimyasal insektisitlerin içerisinde de tarım alanlarındaki zararlı popülasyonlarını kontrol altına almak amacıyla sentetik piretroidlerin kullanımı, özellikle 1970'li yıllarda artmıştır (Casida ve Quistad, 1998). Bu sınıfa ait bileşiklerden biri olan deltamethrin, etkili sonuç vermesi nedeniyle yaygın biçimde kullanılmaktadır (Elliott vd., 1978). Pirinç biti için de kullanılan deltamethrin, doğal piretrinlerin yapısal modifikasyonu ile geliştirilmiş, nörotoksik etkiye sahip sentetik bir insektisittir. Sinir hücrelerinde sodyum kanallarını hedef alarak membran geçirgenliğini bozar, bu da hedef organizmaları felç ederek ölümlerine yol açar (Soderlund ve Bloomquist, 1989).

Kimyasal mücadele tarımda her ne kadar kolay uygulanabilir ve hızlı sonuç veriyor olsa da bu yönteme başvuranların karşılaştığı bazı sorunlar bulunur. Özellikle yoğun ve bilinçsiz ilaçlamanın yapıldığı çiftliklerde yapılan ilaçlamalar, uygulanan canlılar üzerinde seçilim baskısı oluşturarak zamanla direnç oluşumuna neden olabilmektedir (Metcalf, 1989; Mallet, 1989; Demiröz, 2015; Helps vd., 2017, Bryant ve Reay-Jones, 2020). Bu durum ise pestisitlerin etkinliğini azaltarak, çiftçilerin daha yüksek dozlar kullanmalarına veya farklı pestisitlere yönelmelerine yol açarak ekonomik maliyetleri artırmaktadır. Ayrıca hedef zararlı dışında diğer canlıları da etkileyerek tarımsal ekosistemi bozabilir (Sánchez-Bayo, 2011). Bu nedenle böceklerin direnç mekanizmalarının incelenmesi önem taşır. (Whalon vd., 2008).

Bu tez çalışmasında tahıl depolarında zarara yol açabilen *S. oryzae* kültüre alınarak optimum koşullar sağlanarak üretilmiş, laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda üzerinde aktif olarak ruhsatlı bir insektisit olan deltamethrin uygulanarak seçilim baskısı yapılmış ve direnç kazanması amaçlanmıştır. Dirençli bireylerin üzerinde incelemeler yapılarak direncin ne kadar sürede ve nasıl kazanıldığı ilgili soruların cevapları aranmıştır.

Ayrıca dirençli ve hassas bireyler arasında resiprokal çaprazlamalar yapılarak direncin baskın veya çekinik karakterde olup olmadığı ve ayrıca geri çaprazlamalar ile de direncin monogenik veya poligenik karakteri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Champ (1967), tarafından yapılan bir çalışmada Queensland'de *S. oryzae* türünde dünyada yasaklı bir pestisit olan DDT'ye karşı direnci incelenmiş, DDT emdirilmiş filtre kağıdıyla yapılan maruziyet testiyle doğrulanmıştır. Duyarlı laboratuvar soyu kısa sürede etkilenirken, dirençli laboratuvar ve saha soylarında tepki süresi anlamlı şekilde uzamıştır. Laboratuvar kökenli dirençli bireylerde DDT'ye karşı direnç oranı erkeklerde 12.8 ve dişilerde 11.3 kat olarak belirlenmiştir. Genetik analizler, DDT direncinin cinsiyete bağlı yarı-dominant genler tarafından kontrol edildiğini ve bazı genetik sapmalar ile modifiye edici faktörlerin de sürece dahil olduğunu göstermiştir.

Champ (1968), tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise *S. oryzae* türünün malathiona karşı direnç geliştirmesi halinde direnci tespit etmeye yönelik bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde direnç tespiti için ergin bireylerin besinsiz olarak insektisit emdirilmiş filtre kağıdına maruz bırakıldığı ve sersemleme (knockdown) etkilerinin değerlendirilmesi yer almaktadır.

Heather (1982) tarafından yürütülen bir çalışmada *S. oryzae* türüne ait malathiona dirençli ve duyarlı bireylerin belirli koşullarda biyolojik olarak gelişim performansları karşılaştırılmıştır. Bulgular, dirençli bireylerin gelişiminin duyarlılardan anlamlı ölçüde farklı olmadığını ortaya koymuştur.

Heather (1986) tarafından yürütülen bir çalışmada, *S. oryzae* türünün bazı insektisitlere karşı geliştirdiği direnç incelenmiştir. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerde, bu tür 25 döl boyunca permethrin ve deltamethrine maruz bırakılmış ve sonuç olarak sırasıyla 256 kat ve 98 kat artan direnç düzeyleri tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan çaprazlama deneyleri sonucunda, insektisit direncinin cinsiyete bağlı özellikler gösterdiği ortaya konmuştur.

Longstaff (1991) tarafından yürütülen bir çalışmada, *S. oryzae* türüne ait biri duyarlı, üçü dirençli dört farklı soyun, deltamethrin ve pirimifos-metil insektisitlerinin sublethal dozlarına verdiği biyolojik tepkileri incelemiştir. Kontrollü koşullarda gerçekleştirilen

denemelerde ölüm oranlarının dozlarla birlikte arttığı görülmüştür. Üreme performansları incelendiğinde ise kontrol gruplarındaki dirençli soylar, duyarlı soylara göre daha yüksek üreme performansı göstermiştir.

Guedes vd. (1995), tarafından Brezilya'da yürütülen bir çalışmada *S. zeamais* türüne karşı kullanılan deltametrinin etkisizliği, bu zararlının bazı insektisitlere direnç geliştirmiş olabileceği yönünde bir araştırmayı tetiklemiştir. Çalışmada DDT, pirimifos-metil ve bazı piretroitler (deltametrin, sipermetrin ve permetrin) ile bunların piperonil bütoksit ile sinerjize formları incelenmiştir. FAO'nun önerdiği biyotest yöntemi kullanılarak, duyarlı populasyonlar üzerinden her insektisit için $LC_{99.9}$ değeriyle ayırt edici dozlar belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, altı farklı populasyonda DDT ve piretroitlere karşı çapraz direnç geliştiğini göstermiştir. Bunlardan biri hem DDT hem de deltametrine dirençli iken, üçü sadece DDT'ye karşı direnç göstermiştir. Çalışma, geçmişte yoğun kullanımı olan ve günümüzde önerilen insektisitlere karşı direnç durumunun, zararlı mücadelesi stratejilerinde göz önünde bulundurulması gerektiğine işaret etmektedir.

Perez-Mendoza (1999), tarafından yapılan çalışmada, Meksika'nın dokuz farklı bölgesinden toplanan 11 adet *S. zeamais* popülasyonunda DDT, lindan, malathion, pirimiphos-methyl, deltamethrin ve permethrin'e karşı direnç düzeyleri temas yoluyla yapılan biyo-yoklama testleriyle değerlendirilmiştir. Her insektisit için direnç oranları, en duyarlı popülasyon referans alınarak hesaplanmıştır. Bulgular, DDT'ye karşı düşük-orta (1.3–14.1 kat), lindan için orta-yüksek (4.7–20.9 kat), malathion için düşük-yüksek (1.6–31.4 kat), diğer insektisitler için ise düşük düzeyde direnç geliştiğini göstermektedir. Özellikle lindan ve malathiona karşı yüksek direnç düzeylerinin ilk kez raporlandığı bu çalışma, *S. zeamais*'te gelişen insektisit direncinin Meksika'da önemli bir sorun haline geldiğine ve gelecekte daha ciddi sonuçlar doğurabileceğine işaret etmektedir.

Ribeiro vd. (2003), tarafından yürütülen bir araştırmada Brezilya'nın altı farklı eyaletinden toplanan dokuz *S. zeamais* populasyonunda, üç organofosfat ve üç piretroit insektisite karşı direnç durumu laboratuvar ortamında incelenmiştir. Karşılaştırmalar, duyarlı bir laboratuvar hattı ile DDT ve piretroitlere dirençli bir referans populasyonu üzerinden yapılmıştır. Bazı populasyonlarda cypermetrin ve klorpirifos-metil'e karşı

duyarlılığın azaldığı gözlemlenmiş, ancak tüm populasyonların malathion ve pirimifos-metil'e duyarlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle dirençli referans populasyonda yüksek düzeyde piretroit direnci saptanmıştır. Sinerjistlerle yapılan testler, cypermetrin direncinde esterazların rol oynadığını, klorpirifos-metil için ise belirgin bir direnç mekanizması tespit edilemediğini göstermiştir. Bulgular, bazı populasyonlarda hedef bölge değişikliklerinin de piretroit direncine katkı sağladığını düşündürmektedir.

Kljajić ve Perić (2006), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Sırbistan ve Bosna-Hersek'teki çeşitli depolama alanlarından toplanan *S. granarius* populasyonlarının farklı insektisitlere karşı duyarlılığı laboratuvar testleriyle değerlendirilmiştir. Kullanılan insektisitler filtre kağıdı yöntemiyle uygulanmış, duyarlı laboratuvar populasyonu referans alınarak direnç düzeyleri belirlenmiştir. Bulgulara göre, test edilen populasyonlar arasında insektisitlere karşı duyarlılık farklılıkları gözlemlenmiş, bazı bölgelerden gelen populasyonlarda direnç belirtileri saptanmıştır. Genel olarak klorpirifos-metil en etkili bileşik olurken, cypermetrin en düşük toksisiteye sahip insektisit olarak belirlenmiştir. Bulgular, yerel populasyonlardaki direnç gelişiminin zararlı yönetimi açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Kljajić ve Perić (2007), tarafından yürütülen bir çalışmada eski Yugoslavya'dan toplanan yedi *S. granarius* populasyonunun çeşitli insektisitlere karşı duyarlılığı laboratuvar koşullarında değerlendirilmiştir. Deltamethrin ve pirimifos-metil ile seçilim uygulanan populasyonlarda bu insektisitlere karşı direnç geliştiği, bazı durumlarda ise çapraz direnç oluştuğu gözlemlenmiştir. En yüksek toksisite klorpirifos-metilde, en düşük ise cypermetrinde saptanmıştır.

Nyugen vd. (2015), tarafından yapılan bir araştırmada *S. oryzae*'de fosfin direnci üzerine yapılan çalışmada, Avustralya kökenli yüksek dirençli bir suşun direncinin kalıtımının otozomal ve eksik baskın olduğu belirlenmiştir. Bu suşun LC_{50} değeri, duyarlı suşa göre 52 kat daha yüksektir. F_2 ve geri çaprazlama analizleri, direncin birden fazla gen tarafından kontrol edildiğini ve bu genlerden birinin hem güçlü hem zayıf direnç fenotiplerinden sorumlu olduğunu göstermektedir. Bazı bireylerde ebeveynlerde daha yüksek direnç gözlenmiş, bu durum çoklu alel varlığı ile açıklanmıştır.

Paudyal vd. (2016), tarafından yapılan bir çalışmada üç depo zararlısı olan *Tribolium castaneum, Sitophilus oryzae* ve *Rhyzopertha dominica*'nın deltametrine karşı tepkisini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Farklı deltametrin dozlarıyla muamele edilen yüzeylerde, böceklerde kontakt (temas) yoluyla zehirlenme ve felç (knockdown) durumu incelenmiştir. Tüm türlerde yüksek dozlarda kısa sürede etkili knockdown sağlanmış ve 48 saatlik maruziyet sonunda neredeyse tüm bireylerde ölüm gerçekleşmiştir. Elde edilen bulgular, deltamethrinin özellikle depolanmış ürün zararlıları için kullanılan yeni ZeroFly depolama torbaları gibi entegre zararlı yönetimi uygulamalarıyla birlikte etkili bir kontrol yöntemi olabileceğini göstermektedir.

Manal vd. (2017), tarafından yapılan bir araştırmada El-Behera bölgesinden elde edilen *S. oryzae* populasyonu, laboratuvar kökenli duyarlı hatla karşılaştırıldığında malathion ve deltamethrine karşı daha düşük bir hassasiyet sergilemiştir. Populasyon, cypermetrine karşı hafif dirençli, permethrine ise tamamen duyarlı bulunmuştur. Biyokimyasal analizler, bazı detoksifikasyon enzimlerinde artış ve asetilkolinesteraz duyarsızlığı gibi metabolik direnç mekanizmalarının etkili olabileceğini göstermiştir. Bu bulgular, pestisit direncinin izlenmesinin ve direnç yönetim stratejilerinin geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Attia vd. (2020), tarafından yapılan bir çalışmada Mısır'ın İskenderiye iline bağlı iki farklı bölgede buğday depolarında bulunan zararlı popülasyonları incelenmiştir. Buğday depolama alanlarından toplanan *Tribolium castaneum* (Herbst) ve *Sitophilus oryzae* (L.) popülasyonlarında kontakt etkili insektisitler olan malathion, pirimifos-metil ve cypermetrin'e karşı direnç düzeyleri incelenmiştir. *S. oryzae* popülasyonları genel olarak malathion'a karşı daha yüksek direnç gösterirken, *T. castaneum* popülasyonları ise pirimifos-metil'e karşı daha dirençli bulunmuştur. Her iki türün ise cypermetrin'e karşı duyarlı olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, Mısır'daki bu zararlı türlerde insektisit direncinin mevcut olduğunu ve bu durumun düzenli olarak izlenmesi gerektiğini göstermekte; aynı zamanda etkin direnç yönetim stratejilerinin geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Singh vd. (2021), tarafından yapılan bir çalışmada, güney Hindistan'daki tahıl depolarından toplanan *S. oryzae* örnekleriyle yapılan analizlerde, dirençli bireylerin laboratuvardaki duyarlı bireylere kıyasla deltamethrine karşı 134 kat daha dirençli olduğu göstermiştir. Ayrıca, dirençli popülasyonlarda T929I mutasyonu tespit edilmiş ve bu mutasyonun yaygın olduğu CAPS analizleriyle doğrulanmıştır. Elde edilen veriler, deltamethrin direncinin bu bölgede yaygın olduğunu ortaya koymakta ve alternatif mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Baliota vd. (2022), tarafından yürütülen bir araştırmada *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Col: Bostrichidae), *Sitophilus zeamais* (Mochul'skii) (Col: Curculionidae) ve *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Col: Cucujidae) türleri üzerinde yaygın kullanılan insektisitlere karşı direnç durumu değerlendirilmiştir. Yerel depolardan toplanan populasyonlar, laboratuvar koşullarında fosfin, deltamethrin, cypermetrin ve pirimifos-metil gibi insektisitlerle test edilmiştir. Bulgular, hem saha hem de laboratuvar populasyonlarında bu insektisitlere karşı farklı düzeylerde tolerans geliştiğini göstermiştir. Önerilen dozların bazı populasyonlarda yeterli etki göstermemesi, insektisit etkinliğinin populasyon özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır.

Alpkent vd. (2023), tarafından yapılan bir çalışmada *S.oryzae* ve *S. granarius* türlerinin güncel olarak kullanılan bir pestisit olan malathion aktif maddesine karşı direnç oranları belirlemek için Türkiye'nin farklı illerindeki depolardan bu türler toplanmıştır. Daha sonrasında laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde *S. oryaze* için en yüksek direnç oranı 5.73 kat ve en düşük direnç oranı ise 1.57 kat, *S. granarius* için ise en yüksek 6 kat ve en düşük 2.54 kat direnç oluşturduğu görülmüştür. Bu çalışmada illerden toplanan bu iki türün malathion'a karşı bir miktar direnç oluşturduğu görülmektedir.

Neethu vd. (2023), tarafından yapılan çalışmada, *S. oryzae*'nin insektisitlere karşı direnç durumu incelenmiş ve beş farklı etki mekanizmasına sahip insektisite karşı duyarlılığı ile dirençte rol oynayan biyokimyasal mekanizmalar değerlendirilmiştir. Laboratuvar popülasyonları üzerinde malathion, deltamethrin, fipronil, indoxacarb ve chlorantraniliprole test edilmiştir. Malathion ve deltamethrin, saha popülasyonunda laboratuvar popülasyonuna kıyasla daha yüksek direnç göstermiştir. Diğer üç insektisit

için direnç oranı ihmal edilebilir düzeydedir. Ayrıca saha popülasyonlarında P450 monooksijenaz, karboksilesteraz ve glutatyon-S-transferaz gibi detoksifikasyon enzimlerinin aktivitesinin anlamlı düzeyde arttığı tespit edilmiştir.

Khan vd. (2024), tarafından yapılan bir çalışmada *Sitophilus oryzae*'de permethrin direncinin kalıtımı iki saha popülasyonu üzerinden araştırılmıştır. Bu popülasyonlar, hassas laboratuvar hattına kıyasla yüksek düzeyde direnç göstermiştir. Resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F1 döllerinde LC_{50} farkı gözlenmemiş, bu da direncin otozomal aktarıldığını göstermiştir. Baskınlık derecesi eksik baskınlık aralığında bulunmuş, F2 ve geri çapraz analizleri ise direncin poligenik olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar, direnç yönetimi stratejileri için önemli bilgiler sunmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, 2023-2025 yıllarında Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Nematoloji laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Nematoloji laboratuvarına ait görüntü

3.1. *Sitophilus oryzae*

Bu çalışmada kullanılan *S. oryzae* kültürü 2022 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma bölümü Toksikoloji laboratuvarında 5 yıldır üretimi yapılan bir kültürden temin edilmiştir. 2022 yılından bu yana da Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü iklim odasında 27 ± 1 °C ve % 60 ± 5 nem koşullarında hiçbir pestisit uygulamasına maruz kalmadan yaklaşık 9 litrelik bir

plastik kap içerisinde %11-12 nem içeriği olan 500 g buğday içerisinde yetiştirilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. *Sitophilus oryzae* kültürünün yetiştirilmesi

3.1.1. Sistematikteki yeri

Takım : Coleoptera
Alttakım : Polyphaga
Üst familya : Curculionoidea
Familya : Curculionidae
Alt familya : Dryophthorinae
Cins : *Sitophilus*
Tür : *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763)

3.2. Kullanılan İnsektisit

Bu çalışmada sentetik bir piretroid insektisit olan deltamethrin kullanılmıştır. Piretroite ilişkin açıklama aşağıda verilmiştir.

3.2.1.Deltamethrin

Kimyasal adı, (S)-α-siyano-3-fenoksibenzil(1R,3R)-3-(2,2-dibromovinil)-2,2 dimetilsiklopropan-1-karboksilat olan bu bileşik, $C_{22}H_{19}Br_2NO_3$ formülüne sahiptir. Oda sıcaklığında katı halde renksiz beyazımsı krem tonundadır. Ticari preparatlarda ise katı form, çeşitli çözücüler veya formülasyon yardımcıları ile karıştırılarak emülsiyon konsantre (EC), ıslanabilir toz (WP) ya da kapsül süspansiyon (CS) haline getirilebilmektedir. Böcekler üzerinde sinir sistemine etki ederek sodyum kanallarının işlevini bozarak etki göstermektedir (Field ve ark.,2017). Denemede Türkiye'de 2014 yılında buğday biti (*Sitophilus granarius*), testere dişli tahıl böceği (*Oryzaephilus surinamensis*), ekin kambur biti (*Rhizopertha dominica*), un biti (*Tribolium castaneum*) ve pirinç biti (*Sitophilus oryzae*)'ne karşı ruhsat almış olup DEPO İMPOTEK EC ticari ismiyle satışa sunulmuş olan deltamethrin kullanılmıştır (Şekil 3.3).



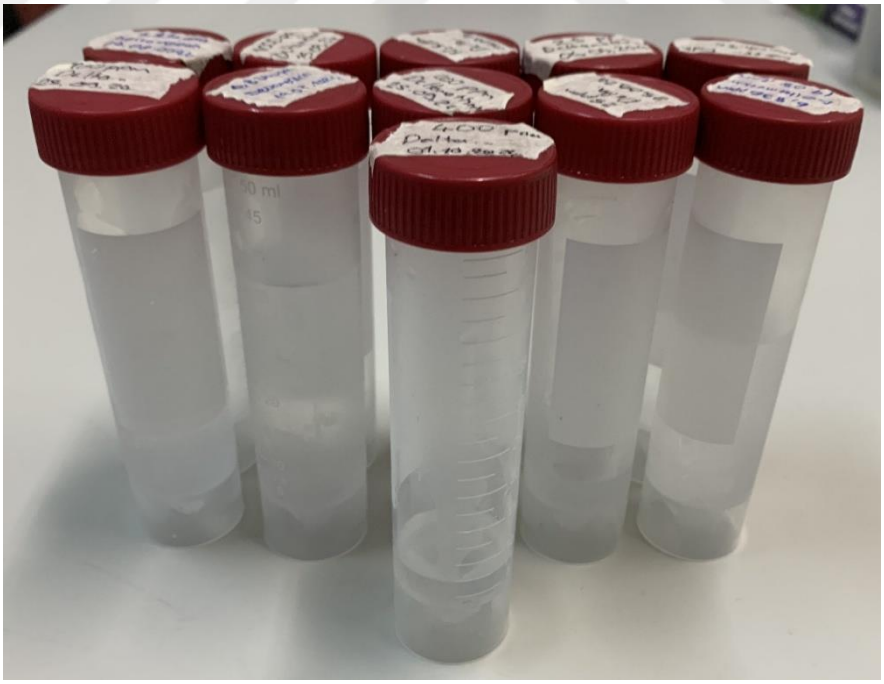
Şekil 3.3. Denemede kullanılan insektisit

3.2.2. Deltamethrin konsantrasyonlarının hazırlanması

5000 ppm (250 ml) stok deltamethrin konsantrasyonunu hazırlamak için, 25 ml deltamethrin (50 g/L EC) iyi bir şekilde çözünebilmesi için 225 ml %96 saf etanol içerisinde çözdürülmüş ve kullanıncaya kadar buzdolabında +4 °C'de vida kapaklı reaktif cam şişede saklanmıştır (Şekil 3.4). Daha düşük ppm konsantrasyonları depolamak için 50 ml plastik falkon tüpler kullanılarak aynı ortamda muhafaza edilmiştir (Şekil 3.5). %10-%90 ölüm oranlarına sebep olabilecek konsantrasyonları belirlemek için $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$ seyreltme denklemi kullanılmıştır. Bu denklemde C_1 stok çözelti konsantrasyonu (ppm), V_1 alınan başlangıç çözeltinin hacmi (ml), C_2 seyreltilmiş çözeltinin son konsantrasyonu (ppm), V_2 son çözeltinin toplam hacmi (ml) olarak tanımlanır.



Şekil 3.4. 5000ppm 250 ml stok deltamethrin konsantrasyonu



Şekil 3.5. Düşük ppm konsantrasyonlarını muhafaza etmek için kullanılan 50 ml falkon tüpler

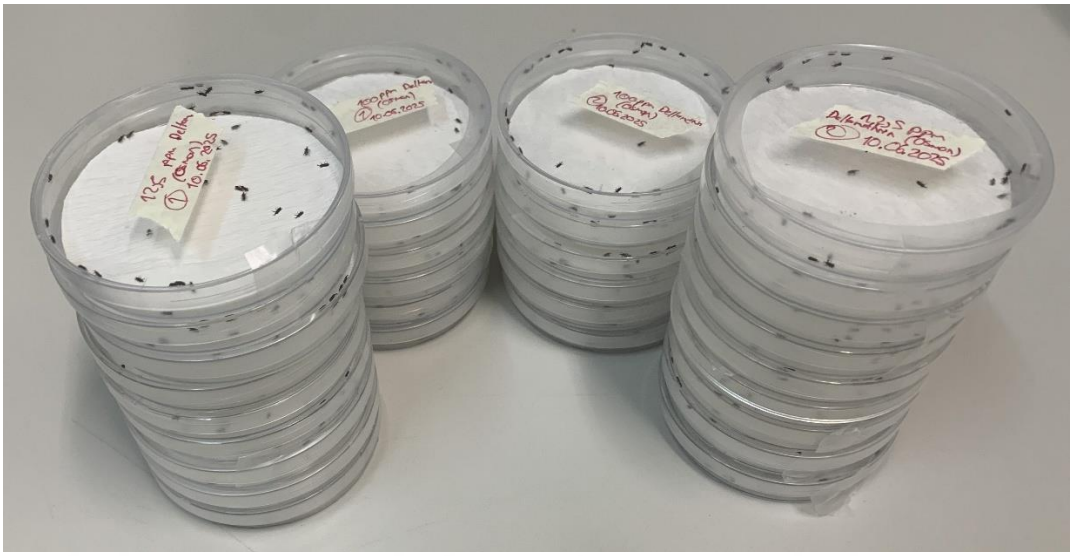
3.3. Yapay Seleksiyonlar

Yapay seleksiyonlar için ölüm oranlarını belirlemede standart filtre kağıdı bioassay metodu (FAO, 1974) kullanılmıştır. Filtre kağıdı diskleri (Whatman serisi 1, 9 cm çaplı) için gerekli hacim 1.5 ml olarak ayarlanmıştır (Singh et al., 2021). Filtre kâğıdının yüzeyine 1.5 ml test konsantrasyonu bir otomatik pipet (CAPP Solo) yardımıyla homojen bir şekilde emdirilmiştir (Şekil 3.6a). Hazırlanan farklı konsantrasyonların uygulandığı işlem görmüş filtre kağıtları, bir kağıt havlu üzerine serilerek 27 ± 1 °C oda sıcaklığında 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kuruyan filtre kağıtları 9 cm çapındaki plastik Petri kaplarına yerleştirilerek üzerine de *S. oryzae* erginleri konulmuştur. Petri kapakları parafilm ile kapatılmıştır (Şekil 3.6b). Erginler 48 saat boyunca Petri kapakları kapalı şekilde filtre kağıtlarına maruz bırakılmıştır (Şekil 3.7). 48 saat sonra Petriler açılarak canlı ölü sayımları yapılmıştır. Koordineli bir şekilde ayakta duramayan veya yürüyemeyen erginler ölü olarak tanımlanmıştır (FAO, 1974). Konsantrasyona bağlı doz-ölüm eğrileri probit analizi ile elde edilmiştir. Denemelerde her konsantrasyon için 50 adet karışık cinsiyette *S. oryzae* (1-3 günlük) ergini kullanılmış olup, en az 5 konsantrasyon 3 tekerrür olacak şekilde yapılmıştır. Kontrol grubu için sadece % 96 saf etanol kullanılmıştır.



a **b**

Şekil 3.6. Denemelerde kullanılan **(a)** otomatik pipet ve **(b)** parafilm



Şekil 3.7. Yapay seleksiyon için Petri kaplarına konulmuş erginler

Deltamethrin hassasiyeti belirlendikten sonra F_0 popülasyonunda %70 ölüm oranına sebep olan LC_{70} konsantrasyonu (Heather, 1986) yukarıda anlatıldığı şekilde uygulanmıştır. LC_{70} değeri uygulanan bireylerden canlı kalanlar toplanıp ayrı bir cam kavanoza alınarak yeni bir kültür oluşturulmuştur (Seleksiyon 1). Her dölde LC_{70} değeri tekrar uygulanarak yapay seleksiyonla deltamethrin'e dirençli popülasyonlar elde edilmiştir. Her döl için ayrı ayrı LC_{50} ve LC_{90} değerleri belirlenerek direnç oranları hesaplanmıştır. Yapay seleksiyonla seçilen böcekler, kültür başına minimum 200 adet birey ve her uygulama için 3 tekerrür olacak şekilde 6 haftalık bir döngüde kültüre alınmıştır. Tüm kültürler 27 ± 1°C'de ve %60 ± 5 nem koşullarında tutulmuştur. Besin olarak %12 nem içeriğine sahip buğday kullanılmıştır.

3.3.1. Yapay seleksiyon kültürlerinin yetiştirildiği ortam

Yapay seleksiyon yapılarak elde edilen dirençli döller (F_0-F_6) ayrı ayrı 1 litrelik cam kavanozlar içerisinde yetiştirilmiştir. Kültürlerin beslenebilmesi için kavanozların içerisine 150 g buğday konulmuştur. Havalandırma için cam kavanozların kapakları delinmiş olup ince tül ile kapatılarak dışarıya çıkmaları engellenmiştir. Kavanozlar etüv (TERMAL) içerisinde 27 ± 1 °C ve %60 ± 5 nem koşullarında tutulmuştur (Şekil 3.8). Kültürlerin bakımları haftalık olarak kontrol edilerek devamlılığı sağlanmıştır.

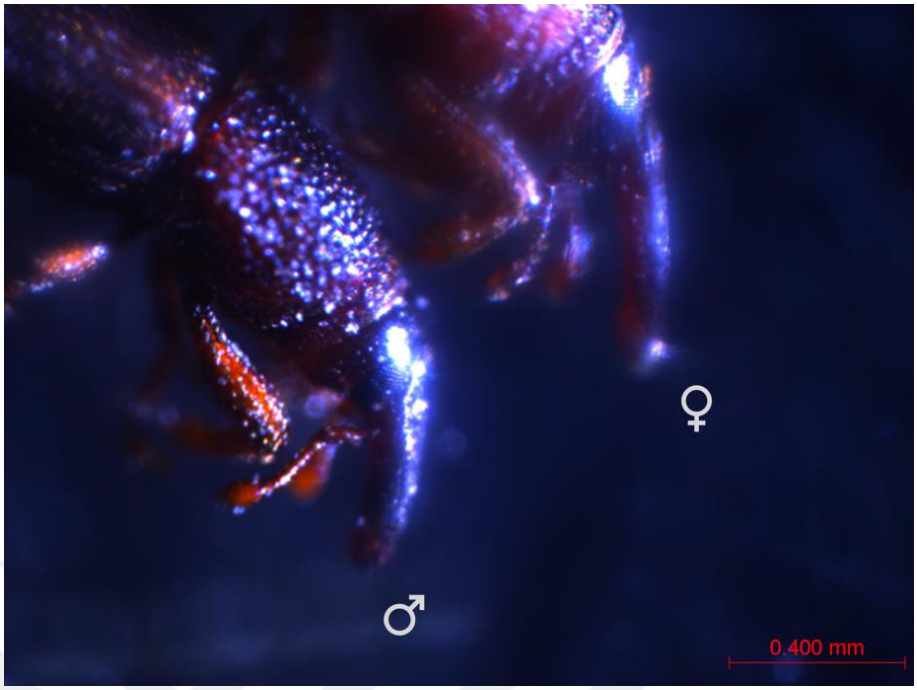


Şekil 3.8. Dirençli generasyonların saklandığı etüv

3.4. Cinsiyet Ayrımı

Dişi ve erkek ayrımı proboscis üzerinden morfolojik karakterlere bakılarak yapılmıştır (Halstead, 1963). En önemli morfolojik farklardan "Rostrum" denilen yani ağız parçalarını taşıyan yapıdır. Bu yapıda eşeye bağlı belirgin farklar mevcuttur. Dişilerde rostrum ince uzun ve parlak iken erkeklerde rostrum kısa kalın ve mattır (Şekil 3.9). En çok bu fark kullanılmıştır.

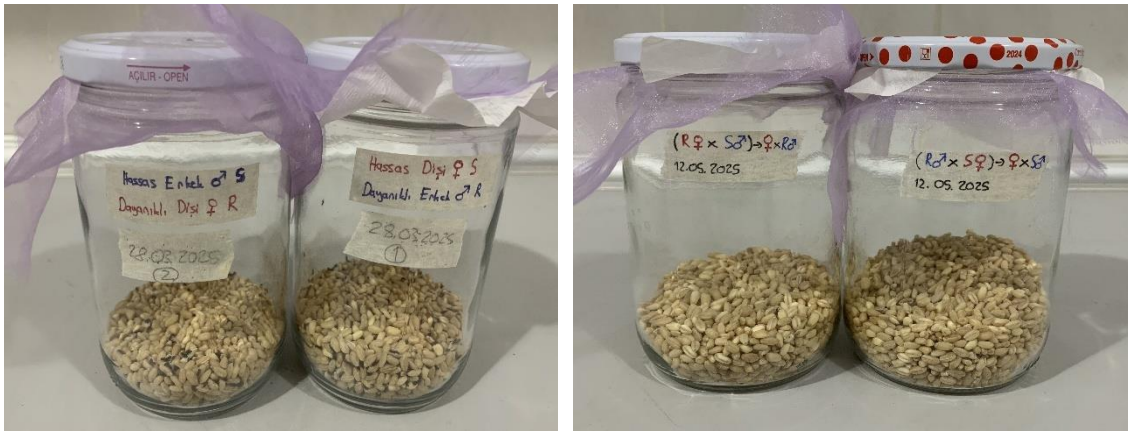
Ayrıca diğer morfolojik farklılıklardan da yararlanılmıştır. Bunlar arasında dişiler genellikle erkeklere kıyasla daha uzun yapılı olup, yan profilden incelendiğinde vücut alt hatları düz bir seyir izlerken, erkeklerde bu hat arka bölgeye doğru kavis yapmaktadır. Erkeklerde bazı ventral sternitler (plakalar) aşağıya doğru eğimli yapıdayken, dişilerde bu plakalar neredeyse düz bir çizgi oluşturur. Özellikle 5. ve 6. sternitler erkeklerde aşağıya doğru eğimlidir. Diğer bir fark ise gözlerdeki ommatidium sayılarıdır. Dişilerde yaklaşık 154 adet iken erkeklerde bu sayı 167 civarındadır (Omar, 2012).



Şekil 3.9. *Sitophilus oryzae* dişisi ve erkeği

3.5. Resiprokal Çaprazlamalar

Resiprokal çaprazlamalarda, dirençli popülasyon (R) olarak yapay seleksiyonlar sonucunda deltamethrin'e dirençli hale getirilen 5. seleksiyon kullanılmıştır. Hassas popülasyon (S) olarak ise laboratuvarda hiçbir pestisite maruz kalmamış ana kültür kullanılmıştır. Direncin kalıtımını belirlemek için popülasyonlar arasında resiprokal çaprazlamalar uygulanmıştır. Bu bağlamda hassas dişiler ile dirençli erkek bireyler (S♀ x R♂) ve dirençli dişiler ile hassas erkek bireylerle (R♀ x S♂) çaprazlanarak direncin kalıtımının baskın veya çekinik olup olmadığı, geri çaprazlamalar ile [(R♀ x S♂)F_1 x R♂, (S♀x R♂)F_1 x S♂] de direncin kalıtım şeklinin monogenik veya poligenik olarak kontrol edilip edilmediği belirlenmiştir (Şekil 3.10). Geri çaprazlamalarda resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F_1 dişileri kullanılmıştır. Bunun için 1 günlük 50 adet dişi ile yine 1 günlük 50 adet erkek birey yan yana getirilerek çiftleşmeleri sağlanmıştır. Resiprokal çaprazlamalar için en az 40 çift, geri çaprazlamalar için ise 20 çift kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Resiprokal çaprazlamalarda kullanılan kavanozlar

Genetik çaprazlamalarda kullanılmak üzere yukarıda bahsedildiği gibi bir araya getirilen dişi ve erkek bireyler çiftleştirilmek üzere ayrı cam kavanozlara alınmış ve içerisine 100 g buğday konulmuştur. 2 hafta sonra cam kavanozlar açılarak yumurta bırakılmış olan buğdaylar erginlerden ayrılarak ayrı cam kavanozlara alınmış ve yumurtaların çıkması beklenmiştir. Daha sonrasında buğdaylardan ayrılan erginler tekrar yumurtlatılmak üzere farklı cam kavanozlara konularak yumurtlamanın devamlılığı sağlanmıştır.

Çaprazlamalar sonucunda elde edilen F_1 dişilerinde direncin kalıtımı, Stone (1968) tarafından geliştirilen formüle göre hesaplanmıştır: $D=(2X_2-X_1-X_3) / (X_1-X_3)$. Bu formülde; X_1: dirençli popülasyonun LC_{50} değerinin $\log_{10}$'u, X_2: F_1 dişilerinin LC_{50} değerinin $\log_{10}$'u ve X_3: hassas popülasyonun LC_{50} değerinin $\log_{10}$'unu temsil etmektedir. Elde edilen D değeri -1'e yakınsa direnç tam çekinik, 0 civarındaysa her iki ebeveynin benzer duyarlılıkta olduğunu, 1'e yakınsa ise direncin tam baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca D değeri 0 ile 1 arasındaysa eksik (tam olmayan) baskın, -1 ile 0 arasındaysa eksik (tam olmayan) çekinik olarak değerlendirilmiştir.

Direncin kalıtım biçimini kontrol etmek amacıyla, F_1 bireyleri yukarıda bahsedildiği gibi geriye çaprazlanmış ve bu çaprazlamalar sonucunda hem gözlenen hem de teorik olarak beklenen ölüm oranları elde edilmiştir. F_2 bireyleri için öngörülen teorik ölüm oranları ise teorik ölüm oranı formülü temel alınarak hesaplanmıştır (Georghiou, 1969). Bu kapsamda geri çaprazlamalarda elde edilen F_2 bireylerinin öngörülen teorik ölüm oranı

c=(0.5)W(F_1 dişileri) + (0.5)*W* (R ırkı) formülü ile hesaplanmıştır. Burada kullanılan c değeri uygulanan bir konsantrasyonda teorik olarak beklenen ölüm oranını verir. W ise uygulanan bir konsantrasyonda dişi bireyde gözlenen ölüm oranını vermektedir. Söz konusu genetik hipotezin geçerliliği, 1 serbestlik derecesine sahip ki-kare (χ^2) testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneylerden elde edilen χ^2 değerleri, χ^2 dağılım tablosundaki kritik değerlerle karşılaştırılmıştır. Eğer gözlenen ve beklenen ölüm oranları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunursa, monogenik kalıtım varsayımı reddedilmiş; fark anlamlı değilse, bu varsayım geçerli kabul edilmiştir.

3.6. İstatistiksel Analiz

Denemelerin ardından elde edilen canlı ve ölü birey sayıları, probit analizine tabi tutulmuş ve analizler POLO-PLUS istatistik programı (LeOra Software, 1987) kullanılarak, %95 güven düzeyinde ($\alpha = 0.05$) gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda lethal konsantrasyon (LC) değerleri hesaplanmıştır. Ardından, uygulanan dozların logaritmaları alınarak, elde edilen % ölüm oranlarıyla birlikte Microsoft Excel programında regresyon doğruları oluşturulmuştur. Her seleksiyon popülasyonu için hesaplanan LC_{50} ve LC_{90} değerleri, hassas popülasyona ait karşılık gelen LC_{50} ve LC_{90} değerleri ile karşılaştırılarak, ilgili popülasyonların direnç oranları belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Seleksiyon Çalışmaları

Deltamethrin ile yürütülen 6 seleksiyon çalışması sonucunda elde edilen populasyonlara ait LC_{50} ve LC_{90} değerleri ve direnç oranları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Söz konusu çizelge incelendiğinde, hassas populasyona göre LC_{50} ve LC_{90} değerlerinde, birinci seleksiyon aşamasından itibaren kademeli bir artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1'de elde edilen LC_{50} ve LC_{90} değerleri sırasıyla; birinci seleksiyon için 5.633 ve 25.031 ppm, ikinci seleksiyon için 26.885 ve 402.265 ppm, üçüncü seleksiyon için 65.783 ve 754.249 ppm, dördüncü seleksiyon için 137.448 ve 1905.583 ppm, beşinci seleksiyon için 229.936 ve 4735.394 ppm, altıncı seleksiyon için ise 452.693 ve 7287.179 ppm olarak hesaplanmıştır. Hassas popülasyonun LC_{50} değeri referans alınarak yapılan hesaplamalarda, birinci seleksiyondan altıncı seleksiyona kadar elde edilen direnç oranları sırasıyla 1.39, 6.65, 16.27, 34.00, 56.88 ve 119.99 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, LC_{90} değerleri üzerinden yapılan karşılaştırmalarda ise direnç oranlarının sırasıyla 2.66, 42.76, 80.18, 202.59, 503.44 ve 774.73 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Hassas ve seleksiyon popülasyonlarının deltamethrin'e karşı gösterdiği probit-ölüm verileri ve direnç oranları

Deltamethrin	n	Eğim ± SE	χ^2 (df)	Heterojenlik	LC_{50} (ppm) (Güven aralıkları)	LC_{90} (ppm) (Güven aralıkları)	LC_{50}'ye göre RR	LC_{90}'a göre RR
Hassas popülasyon	987	3.494 ± 0.223	12.148 (19)	0.64	4.042 (3.691-4.425)	9.406 (8.288-10.963)	-	-
Seleksiyon-1	867	1.979± 0.127	72.437 (16)	4.53	5.633 (4.210-7.779)	25.031 (15.899-53.377)	1.39	2.66
Seleksiyon-2	842	1.091± 0.101	9.351 (16)	0.584	26.885 (21.864-33.816)	402.265 (242.802-820.992)	6.65	42.76
Seleksiyon-3	842	1.210± 0.103	10.185 (16)	0.637	65.783 (54.370-79.354)	754.249 (514.842-1265.627)	16.27	80.18
Seleksiyon-4	842	1.122± 0.103	7.229 (16)	0.452	137.448 (111.484-175.415)	1905.583 (1138.912-3935.729)	34	202.59
Seleksiyon-5	842	0.975± 0.103	11.938 (16)	0.746	229.936 (174.451-330.852)	4735.394 (2306.327-13916.402)	56,88	503.44
Seleksiyon-6	842	1.062± 0.100	13.086 (16)	0.818	452.693 (352.452-620.011)	7287.179 (3961.051-17407.974)	111.99	774.73

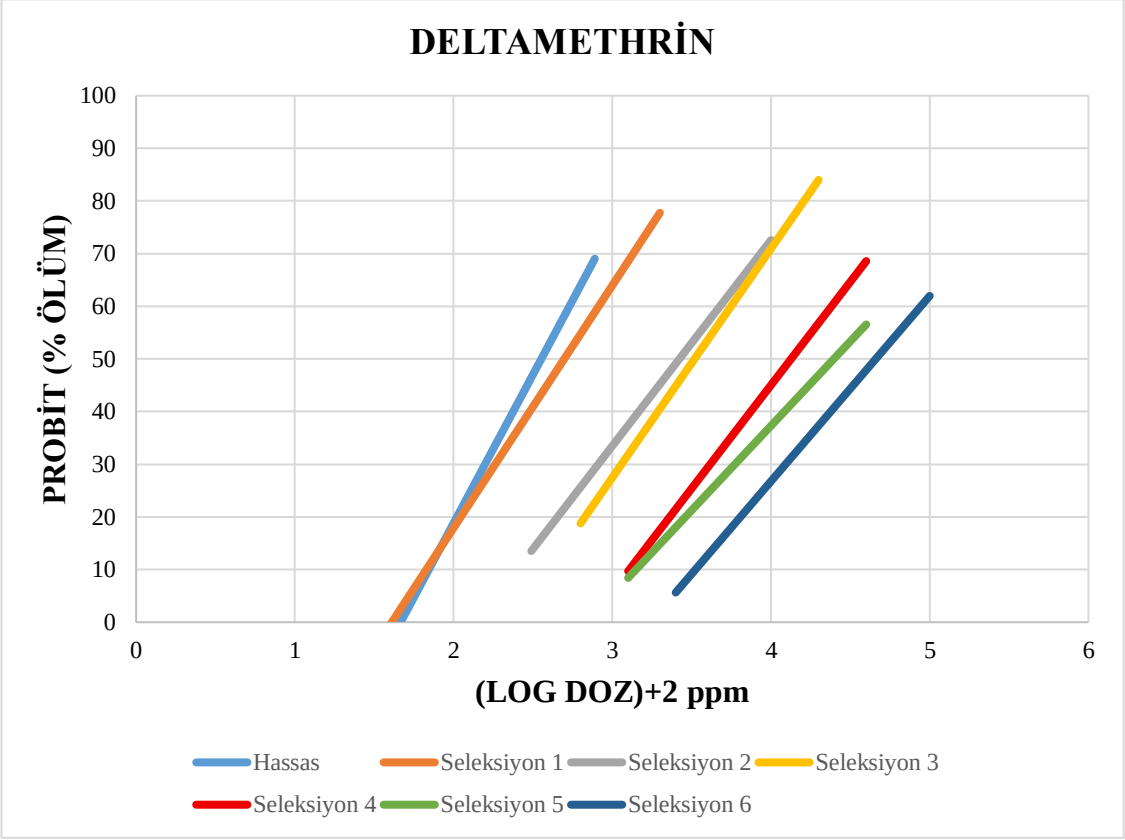
n= Denemelerde kullanılan birey sayısı
RR= Direnç oranı (Popülasyonun LC_{50} veya LC_{90} değeri/ Hassas popülasyonun LC_{50} veya LC_{90} değeri)

Deltamethrin ile yapılan seleksiyon uygulamaları sonrasında hassas popülasyona ait logaritmik doz-probit çizgileri ayrı olarak hazırlanmış ve Şekil 4.1'de sunulmuştur.

Logaritmik doz-probit doğrusu, artan insektisit dozlarına karşı organizmalarda gözlenen biyolojik yanıtların analizinde kullanılan istatistiksel bir araçtır. Şekil 4.1 incelendiğinde yatay eksendeki değişimler doza duyarlılığı belirlerken dikey eksendeki değişiklikler % ölüm oranını göstermektedir. Buna göre hassas popülasyonda görüldüğü gibi doğrunun daha solda olması bu popülasyonun deltamethrine karşı daha hassas olduğunu ve daha dik olması ise dozdaki birim artış başına daha büyük bir etkinin görüldüğü anlamına gelmektedir.. Seleksiyonlara baktığımızda ise doğruların sağa doğru kaydığını ve daha eğik bir hal aldığı görülmektedir. Bu da her seleksiyon sonucunda daha yüksek dozlara karşı direnç geliştirdiğini belirtir. Yani seleksiyon sayısının artması, direnç kazanımını kademeli olarak arttırmakta ve duyarlılığın azaldığını göstermektedir. Bu durum,

insektisit uygulamaları altında seçilim baskısının popülasyondaki dirençli bireylerin sayısını arttırdığına işaret etmektedir (Georghiou ve Taylor, 1977).

Çalışmadan elde edilen bulgular, zararlıların kontrolünde yalnızca tek bir kimyasal etken maddeye sürekli olarak başvurulmasının, hedef popülasyonda direnç gelişimini önemli ölçüde hızlandırabileceğini göstermektedir. Bu durum, özellikle aynı etki mekanizmasına sahip insektisitlerin uzun süreli ve tekrarlı kullanımıyla daha da belirginleşmektedir. Bu nedenle, direnç oluşumunu yavaşlatmak ve mücadele etkinliğini sürdürmek amacıyla, farklı etki mekanizmalarına sahip insektisitlerin dönüşümlü olarak kullanılması ve kimyasal olmayan yöntemlerle desteklenen entegre zararlı yönetimi gibi direnç yönetimi stratejilerinin uygulanması önem arz etmektedir (Sparks ve Nauen, 2015).



Şekil 4.1. Hassas ve seleksiyon popülasyonlarının deltamethrin'e karşı gösterdiği logaritmik doz- probit doğruları

4.2. Resiprokal Çaprazlamalar

Hassas ve dirençli bireyler arasında gerçekleştirilen resiprokal çaprazlamalarla elde edilen F_1 dölleri, direnç genlerinin baskın ya da çekinik olup olmadığına dair bilgi sağlamaktadır. F_2 dölleri ise direncin monogenik mi yoksa poligenik mi olduğunu ortaya koymada önemli ipuçları sunmaktadır.

Buna göre Çizelge 4.2'ye bakıldığında SR ve RS resiprokal çaprazlamalarından elde edilen F1 dölünün gösterdiği LC_{50} değerleri birbirinden farklı olup sırasıyla 3.778 ve 19.019 ppm olarak bulunmuştur. Bu durum F1 döllerinde dişiden gelen bir etkinin olduğunu göstermektedir. SR ve RS çaprazlamalarından elde edilen F1 döllerinde ise formülden hesaplanan baskınlık dereceleri sırasıyla -1.03 (tam çekinik) ve -0.23 (eksik çekinik) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Resiprokal F_1 ve F_2 döllerinin deltamethrin'e karşı gösterdiği probit-ölüm verileri ve direnç oranları

Populasyon	Genotip	n	Eğim ± SE	χ^2 (df)	LC_{50} (ppm) (Güven aralıkları)	LC_{90} (ppm) (Güven aralıkları)	LC_{50}'ye göre RR	LC_{90}'ye göre RR	D
Hassas	S	987	3.494 ± 0.223	12.148 (19)	4.042 (3.691-4.425)	9.406 (8.288-10.963)			-
(F_5)	R	842	0.975± 0.103	11.938 (16)	229.936 (174.451-330.852)	4735.394 (2306.327-13916.402)	56.88	503.4	-
F_1	S♀R♂	1082	1.181±0.082	20.566 (22)	3.778 (2.959-4.659)	45.959 (35.493-63.150)	0.93	4.88	-1.03
F_1	R♀S♂	1082	0.840±0.065	26.363 (22)	19.019 (14.524-24.981	638.133 (354.960-1439.174)	4.7	67.84	-0.23
F_2	SR♀ x S♂	1082	0.738±0.066	14.858 (22)	4.506 (3.098-6.105)	245.022 (149.922-478.983)	1.02	26.04	
F_2	RS♀ x R♂	1082	0.826±0.065	17.036 (22)	33.622 (26.474-43.757)	1198.202 (664.543-2641.697)	8.31	127.3	

D= Dominanslık derecesi
n= Denemelerde kullanılan birey sayısı
RR= Direnç oranı (Popülasyonun LC_{50} veya LC_{90} değeri/ Hassas popülasyonun LC_{50} veya LC_{90} değeri)

Direnç özelliğinden sorumlu lokus sayısını belirlemek amacıyla hem doğrudan hem de dolaylı bazı modeller kullanılmaktadır. Bu amaçla, özellikle geriye dönük çaprazlamalar, direncin monogenik olup olmadığını test etmek için doğrudan bir yöntem olarak tercih edilir. Monogenik modele yönelik bu testte, elde edilen gözlenen tepkiler ile beklenen tepkiler karşılaştırılarak χ^2 analizi uygulanır (Sokal & Rohlf, 1995). Serbestlik derecesi 1 olan bir χ^2 dağılımına göre yapılan değerlendirmede, eğer p değeri 0.05'ten küçük çıkarsa, monogenik kalıtım hipotezi reddedilir ve direnç özelliğinin birden fazla genin etkisiyle kontrol edildiği, yani poligenik olduğu sonucuna varılır. Ancak p değeri 0.05'ten büyükse, monogenik hipotez kabul edilir; bu da direnç özelliğinin büyük etkili tek bir lokustaki gen tarafından yönetildiğini gösterir. Buna göre çizelge 4.3 incelendiğinde RSR çaprazlamasında gözlenen ve beklenen ölüm oranlarına göre farklı dozlarda yapılan χ^2 analizlerinde, 50 ppm konsantrasyonu hariç tüm dozlarda $p>0.05$ bulunmuştur. Bu da, gözlenen ve beklenen ölüm oranları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, dolayısıyla monogenik kalıtım modelinin kabul edilebileceğini göstermektedir. Ancak, 50 ppm'de $p<0.05$ olması, bu dozda gözlenen ölüm oranlarının beklenen değerlere göre anlamlı şekilde farklılaştığını ve bu nedenle direnç özelliğinde birden fazla genin etkili olabileceğini, yani poligenik bir kalıtımın söz konusu olabileceğini düşündürmektedir. Bu fark konsantrasyona bağlı olarak kalıtımın fenotipi değiştirebildiğini göstermektedir. *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) ile yapılan bir çalışmada lambda cyhalothrin direncinin düşük konsantrasyonlarda pek çok genin, daha yüksek konsantrasyonlarda ise tek bir lokustaki majör bir genin kontrolünde olduğu bildirilmiştir (Susurluk, 2008).

Çizelge 4.3. *Sitophilus oryzae*'de 5. Seleksiyon popülasyonu (F5) ile yapılan RSR çaprazlamasında gözlenen ve beklenen ölüm oranları, kikare ve tek gen hipotezini belirlemek için kullanılan *P* değerleri

Doz (ppm)	Ölüm oranı %				
	Gözlenen	Beklenen	[a]χ^2	*P* değeri	Kalıtım
12.5	29.16	26.215	0.33	0.5657	Monogenik
25	51.66	39.995	3.40	0.0652	Monogenik
50	63.33	47.08	5.60	0.0180	Poligenik
100	65	51.66	3.44	0.0636	Monogenik
200	70	62.495	0.9	0.3428	Monogenik

[a]χ^2=(Gözlenen ölüm oranı- beklenen ölüm oranı)² / Beklenen ölüm oranı

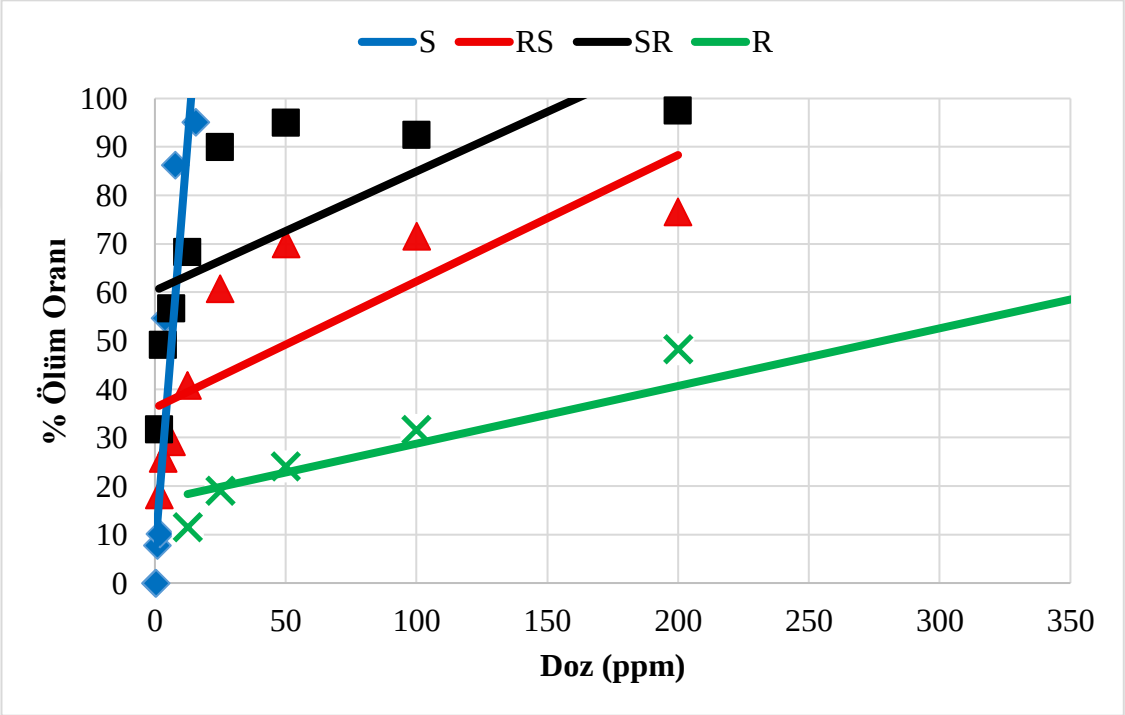
Çizegle 4.4'e bakıldığında ise SRS çaprazlamasında gözlenen ve beklenen ölüm oranlarından elde edilen χ^2 değerleri 12.5, 25, 50 ve 100 ppm dozlarında $p < 0.05$ bulunmuş olup, gözlenen ve beklenen ölüm oranları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu dozlarda monogenik kalıtım hipotezi reddedilmiştir ve direnç özelliğinin poligenik, yani birden fazla genin etkisiyle kontrol ediliyor olabileceği düşünülmektedir. Ancak en yüksek konsantrasyon olan 200 ppm'de $p > 0.05$ bulunmuş, bu sonuç da sadece bu konsantrasyon için monogenik kalıtım modelinin geçerli olabileceğini göstermektedir. Buna rağmen, genel eğilim direnç özelliğinin poligenik kalıtıma sahip olduğu yönündedir.

Çizelge 4.4. *Sitophilus oryzae*'de 5. Seleksiyon popülasyonu ile yapılan SRS çaprazlamasında gözlenen ve beklenen ölüm oranları, kikare ve tek gen hipotezini belirlemek için kullanılan *P* değerleri

Doz (ppm)	Ölüm oranı %				
	Gözlenen	Beklenen	[a]χ^2	P değeri	Kalıtım
12.5	61.66	39.965	11.7	0.000625	Poligenik
25	76.66	54.58	8.93	0.002805	Poligenik
50	85.84	59.58	11.57	0.000670	Poligenik
100	81.66	62.08	6.17	0.012993	Poligenik
200	84.16	72.915	1.73	0.188411	Monogenik

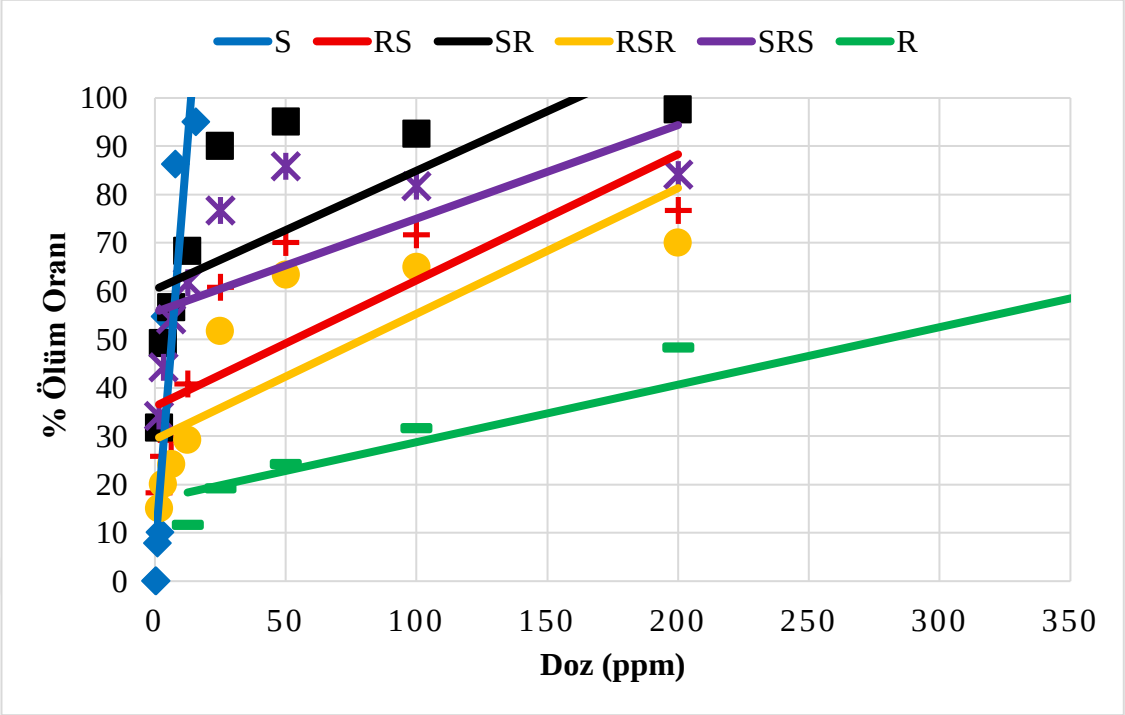
[a]χ^2=(Gözlenen ölüm oranı- beklenen ölüm oranı)²/ Beklenen ölüm oranı

Gerçekleştirilen resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F_1 dölleri (RS ve SR) ile hassas ve dirençli popülasyonlara ait doza bağlı ölüm eğrileri şekil 4.2'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde F_1 dölüne ait eğrinin hassas ve dirençli popülasyonlar arasında kaldığı görülmektedir. RS tip çaprazlamaya ait F_1 dölünün doz ölüm eğrisi dirençli popülasyon eğrisine, SR tip çaprazlamaya ait doz ölüm eğrisinin de hassas popülasyon eğrisine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. *Sitophilus oryzae*'de R ve S popülasyonlarında ve iki popülasyon arasındaki resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F_1 dişilerinde deltamethrin için gözlenen doza bağlı ölüm oranı eğrileri

Şekil 4.3 incelendiğinde ise resiprokal çaprazlamalarla elde edilen F_1 dişilerine F_2 (SRS ve RSR)'ye ait doz ölüm eğrileri dahil edilerek karşılaştırılma yapılmıştır. Buna göre RSR tip çaprazlamanın SRS tip çaprazlamaya kıyasla dirençli popülasyona daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. RSR çaprazlamasından elde edilen doz-ölüm eğrisinin, dirençli ana popülasyonunkine yakın olması, dirençli dişiden gelen genetik katkının baskın ve belirleyici olabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.3. *Sitophilus oryzae*'de R ve S popülasyonlarında ve iki popülasyon arasındaki resiprokal çaprazlamalardan elde edilen F_1 ve F_2 dişilerinde deltamethrin için gözlenen doza bağlı ölüm oranı eğrileri

Çalışma bulguları özetlenecek olursa *S. oryzae*'de görülen deltamethrin direncinin RS tip çaprazlamasında eksik çekinik karakterde olduğu ve bunu takip eden RSR tip çaprazlamada ise direncin, uygulanan 50 ppm konsantrasyon hariç tüm konsantrasyonlarda monogenik bir kalıtım gösterdiği ve ayrıca oluşan dirençte de dişiden gelen bir etkinin olduğu ortaya konmuştur.

Depo zararlılarında direncin kalıtımına yönelik yapılan benzer araştırmalar incelendiğinde, *S. oryzae*'de malathion, primifos-metil ve fosfin gazı için direncin kalıtımında birden fazla genin etkili olduğu görülmüştür (Nguyen vd., 2015; Khan, H. A. A. ve Khan, T., 2023; Khan vd., 2024). Buna karşın bizim çalışmamız ile uyumlu olarak Heather (1986) tarafından *S. oryzae*'de deltamethrin ile gerçekleştirilen deneylerde, direncin kalıtımının olası tek bir gen tarafından yönetilebileceği yönünde bulgular elde edilmiştir. Yine *S. oryzae*'de DDT ile yapılan başka bir çalışmada ise direncin kalıtımının bir veya daha fazla gene bağlı olabileceği ve eksik baskın özellikte olduğunu göstermektedir (Champ, 1967). *S. oryzae*'de diğer bir sentetik piretroit permethrin ile

yapılan çalışmada ise direncin kalıtımı, bizim çalışmamızın aksine otozomal, eksik baskın ve birden fazla gen tarafından kontrol edilmektedir (Khan vd., 2024). Genel olarak piretroit insektisitlere karşı oluşan direncin kalıtımı otozomal, eksik çekinik veya eksik baskın olarak rapor edilmiştir (Roush vd., 1986; Liu ve Yue 2001; Sayyed vd., 2005; Ahmad vd., 2007; Sayyed vd., 2010). Bizim çalışmamızda ise deltamethrin direncinin kalıtımının rapor edilen bu çalışmaların aksine otozomal değil, eşeye bağlı olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar, pestisit türlerine göre direnç kalıtım mekanizmalarının değişkenlik gösterebildiğini ihtimalini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları Khan vd. (2023) ile de uyumlu olarak, *S. oryzae*'nin sürekli olarak insektisitle seleksiyon baskısına maruz kalması durumunda yüksek düzeyde direnç geliştirebileceğini ortaya koymuştur. Ancak laboratuvar sonuçları, seleksiyon baskısının yoğunluğuna, çalışılan böcek türüne, bu türün coğrafi kökenine ve geçmişte kimyasallara maruz kalma durumlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Baskın bir kalıtım, çekinik bir kalıtıma göre direncin çok daha hızlı bir gelişimine olanak tanır (Roush ve McKenzie 1987; Sayyed vd., 2010; Ijaz ve Shad 2018). Bu çalışmanın sonucunda ise direnç geninin resesif olması bir avantaj gibi görülürken, dişiden gelen bir etkinin varlığı ve RSR çaprazlamasının R tipi eğime yakın olması, direnç geninin popülasyonda artma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle sürekli seçilim baskısı altında dirençli bireylerin avantaj sağlaması ile daha da hızlanabilir.

5. SONUÇ

Günümüzde gerek dünyada gerekse ülkemizde zararlı organizmalarla mücadelede pestisitlerin tarımdaki rolü göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için temel araçlar arasında yer almaktadır. Alternatif mücadele yöntemleri tek başına yeterli olmadığı durumlarda, pestisit uygulamaları ürün verimi ve kalitesinin korunmasında belirleyici rol oynamaktadır. Ancak pestisitlerin bilinçsiz ve yoğun kullanımı, ekosistem üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açmakta, çevre sağlığı açısından önemli sorunlar doğurmaktadır. Özellikle tekrarlı kullanımlarda zararlı üzerinde oluşan direnç daha sonrasında dozajın yükselmesine veya daha farklı kimyasallara başvurulmasına yol açarak doğadaki diğer canlıları ve doğal dengeyi olumsuz etkilemektedir. Özellikle hasat sonrası zararlılara karşı depo ilaçlamalarında sıklıkla rastlanan direnç gelişimi dünyada ve ülkemizde gıda güvenliği için büyük bir sorundur. Bu durum, entegre zararlı yönetimi gibi uygulamaların önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Bu nedenle, uygulanan pestisitlerin canlılar üzerindeki direnç gelişiminin ne gibi durumlarda, nasıl, ne kadar sürede oluştuğu gibi soruların cevaplarını öğrenmek büyük önem taşımaktadır.

İnsektisitlerden maksimum fayda sağlamak için, direnç geliştirme potansiyelini, çapraz direnci ve direnç mekanizmalarını dikkatlice analiz ederek proaktif bir direnç yönetim planı oluşturmak önemlidir. Direncin gelişimini engellemek veya yavaşlatmak için öncelikle depo ortamlarında temizlik ve hijyene önem verilmesi, zararlıların üremesinin engellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Direnç yönetim stratejileri kapsamında yapılan akademik çalışmalar, öncelikle kullanılan etken maddelerin değiştirilmesi ve rotasyonlu bir şekilde aynı etki mekanizmasına sahip pestisitlerin ardışık kullanımını engellemeyi önermektedir (Sparks ve Nauren, 2015). Ayrıca birbiriyle uyumlu pestisit karışımları veya ardışık farklı etki mekanizmasına sahip aktif maddelerin kullanımı, zararlıların aynı anda birden fazla seçilim baskısına maruz kalmasını sağlayarak direnç riskini azaltabilir. Böylece dirençli genlerin yayılımı yavaşlatılabilir. Bu durumda kimyasal mücadelede deltamethrin uygulamalarının etkinliğini sürekli olarak izlemek gerekmektedir. Bunun için;

- İlacın kullanım sıklığı ve dozu çok dikkatli bir şekilde yönetilmelidir.
- Genetik ve popülasyon dinamikleri sürekli olarak izlenmelidir.

Bu değerlendirme, dirençli popülasyonların yönetimi ve ilaca karşı direnç gelişiminin önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu sebeple gelecekte depolardan toplanan depo zararlıları ile ilgili direnç çalışmalarının yapılması faydalı olacaktır.

Direnç yönetiminde farklı bir bakış açısı da popülasyon takibi ve ekonomik zarar eşiği kavramlarıdır. Burada düzenli biyotestler kullanılarak direnç seviyeleri takip edilir ve gereksiz uygulamaların önüne geçilebilir. Ayrıca ekonomik zarar eşiği kontrol edilerek bu değerin altında kalan popülasyonlara müdahale edilmeyerek ve gereksiz uygulamalardan kaçınılır. Bununla birlikte, üreticilerin bilinçlendirilmesine yönelik çalışmalar ve entegre zararlı yönetimi uygulamaları, uzun vadede pestisit etkinliğinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bir diğer yaklaşım, biyolojik mücadele etmenlerinin (Doğal düşmanlar, entomopatojen nematodlar, *Bacillus thuringiensis* vb.) pestisitlerle entegre kullanımıdır. Bu yöntem, pestisit baskısını azaltarak direnç gelişimini geciktirebilir. Fakat bu yöntemde dikkat edilmesi gereken pestisitlerin biyolojik etmenlerle uyumluluğudur. Örneğin yapılan bazı çalışmalarda entomopatojen nematodların bazı pestisitlerle sinerjistik etki gösterebildiği bilinmektedir (Özdemir ve ark., 2021; Dias ve ark., 2024; Bütüner ve Susurluk, 2025).

Sonuç olarak, bu çalışmanın direnç araştırmalarına katkı sunmasının yanı sıra, gelecekte yapılacak bilimsel araştırmalara da önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmad, M., Sayyed, A.H., Crickmore, N., & Saleem, M.A. (2007). Genetics and mechanism of resistance to deltamethrin in a field population of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science*: formerly Pesticide Science 63 (10), 1002–1010.

Akhter, M., Sultana, S., Akter, T., & Begum, S. (2017). Oviposition preference and development of rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Lin.)(Coleoptera: Curculionidae) in different stored grains. *Bangladesh Journal of Zoology*, 45(2), 131-138.

Alpkent, Y. N., Yılmaz, A., & Ertürk, S. (2023). Determination of malathion resistance in *Sitophilus oryzae* L., 1763 and *Sitophilus granarius* L., 1758 (Coleoptera: Curculionidae) populations in Türkiye. *Turkish Journal of Entomology*, 47(2), 235-243.

Attia, M. A., Wahba, T. F., Shaarawy, N., Moustafa, F. I., Guedes, R. N. C., & Dewer, Y. (2020). Stored grain pest prevalence and insecticide resistance in Egyptian populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) and the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of stored products research*, 87, 101611.

Awika, J. M. (2011). Major cereal grains production and use around the world. In *Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion* (pp. 1-13). American Chemical Society.

Baliota, G. V., Lampiri, E., Batzogianni, E. N., & Athanassiou, C. G. (2022). Insecticidal effect of four insecticides for the control of different populations of three stored-product beetle species. *Insects*, *13*(4), 325.

Bhuiyah, M. I. M., Islam, N., Begum, A., & Karim, M. A. (1990). Biology of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus).

Bryant, T., & Reay-Jones, F. (2020). Insecticide resistance: Overview and management.

Bütüner, A. K., & Susurluk, İ. A. (2023). Pathotogenicity of Turkish entomopathogenic nematodes, *Steinernema feltiae* and *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) on the rice weevil: *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, *10*(3), 541-547.

Bütüner, A. K., Ergene, E., İlktan, M., Sepin, S., Susurluk, H., & Susurluk, İ. A. (2024). Impact of some entomopathogenic nematode isolates on the mortality and penetration rate of *Rhyzopertha dominica* and *Tenebrio molitor*. *Crop Protection*, *179*, 106629.

Bütüner, A. K., & Susurluk, İ. (2025). How do pesticides affect on entomopathogenic nematodes? In *Proceedings of the 10th International Çukurova Agricultural and Veterinary Congress*.

Campbell, J. F. (2005). Fitness consequences of multiple mating on female *Sitophilus oryzae* L.(Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology*, 34(4), 833-843.

Casida, J. E., & Quistad, G. B. (1998). Golden age of insecticide research: past, present, or future?. *Annual review of entomology*, 43(1), 1-16.

Champ, B. R. (1967). The inheritance of DDT resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) in Queensland. *Journal of Stored Products Research*, 3(4), 321-334.

Champ, B. R. (1968). A test method for detecting insecticide resistance in *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleóptera, Curculionidae).

Choudhury, S. D., & Chakraborty, K. (2014). Study on both the life cycle and morphometrics of *Sitophilus oryzae* on rice cultivar Sampa mashuri in laboratory condition. *Journal of Applied Science and Research*, 2(6), 22-28.

Demiröz, D. A. (2015). Böcekler Neden Direnç Kazanıyor?. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 91-98.

Devi, S. R., Thomas, A., Rebijith, K. B., & Ramamurthy, V. V. (2017). Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 73, 135-141.

Dias, S. D. C., de Brida, A. L., Jean-Baptiste, M. C., Leite, L. G., Ovruski, S. M., Lee, J. C., & Garcia, F. R. M. (2024). Compatibility of entomopathogenic nematodes with chemical insecticides for the control of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Plants*, 13(5), 632.

Doherty, E. M., Sun, Q., & Wilson, B. E. (2023). Stored rice varietal resistance towards *Sitophilus oryzae*. *Crop Protection*, *165*, 106162.

Elliott, M., Janes, N. F., & Potter, C. (1978). The future of pyrethroids in insect control. *Annual review of entomology*, 23, 443-469.

Field, L. M., Emyr Davies, T. G., O'reilly, A. O., Williamson, M. S., & Wallace, B. A. (2017). Voltage-gated sodium channels as targets for pyrethroid insecticides. *European biophysics journal*, 46, 675-679.

Food and Agriculture Organization. (1975). Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides. Tentative method for adults of some major pest species of stored cereals with methyl bromide and phosphine. FAO method no. 16. FAO Plant Prot Bull, 23, 12-25.

Georghiou, G. P. (1969). Genetics of resistance to insecticides in houseflies and mosquitoes. *Experimental parasitology*, *26*(2), 224-255.

Georghiou, G. P., & Taylor, C. E. (1977). Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *Journal of economic entomology*, *70*(3), 319-323.

Gilland, B. (2002). World population and food supply: can food production keep pace with population growth in the next half-century?. *Food policy*, 27(1), 47-63.

Guedes, R. N. C., Lima, J. G., Santos, J. P., & Cruz, C. D. (1995). Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch.(Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *31*(2), 145-150.

Guru, P. N., Mridula, D., Dukare, A. S., Ghodki, B. M., Paschapur, A. U., Samal, I., ... & Subbanna, A. R. (2022). A comprehensive review on advances in storage pest management: Current scenario and future prospects. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 993341.

Halstead, D. G. H. (1963). External sex differences in stored-products Coleoptera. *Bulletin of Entomological Research*, *54*(1), 119-134.

Heather, N. W. (1982). Comparison of population growth rates of malathion resistant and susceptible populations of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)(Coleoptera: Curculionidae). *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 39(1), 61-68.

Heather, N. W. (1986). Sex-linked resistance to pyrethroids in *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 22(1), 15-20.

Helps, J. C., Paveley, N. D., & Van Den Bosch, F. (2017). Identifying circumstances under which high insecticide dose increases or decreases resistance selection. *Journal of theoretical biology*, 428, 153-167.

Ijaz, M., & Shad, S.A. (2018). Inheritance mode and realized heritability of resistance to imidacloprid in *Oxycarenus hyalinipennis* Costa (Hemiptera: Lygaeidae). *Crop Protection*, 112, 90–95.

Jain, N., Kourampi, I., Umar, T. P., Almansoor, Z. R., Anand, A., Rehman, M. E. U., ... & Reinis, A. (2023). Global population surpasses eight billion: Are we ready for the next billion?. *AIMS Public Health*, 10(4), 849.

Khan, H. A. A., & Khan, T. (2023). Mode of inheritance of field-evolved resistance to pirimiphos-methyl in *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)(Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *102*, 102126.

Khan, H. A. A., Khan, T., & Iqbal, N. (2024). Characterizing mode of inheritance of permethrin resistance in field strains of rice weevil *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) from Pakistan. *Journal of Stored Products Research*, *109*, 102422.

Khan, T., Khan, H.A.A., Haider, M.S., Anwar, W., & Akhter, A. (2023). Selection for resistance to pirimiphos-methyl, permethrin and spinosad in a field strain of *Sitophilus oryzae*: resistance risk assessment, cross-resistance potential and synergism of insecticides. *Environmental Science and Pollution Research*, 30:29921–29928.

Kljajić, P., & Perić, I. (2006). Susceptibility to contact insecticides of granary weevil *Sitophilus granarius* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) originating from different locations in the former Yugoslavia. *Journal of Stored Products Research*, *42*(2), 149-161.

Kljajić, P., & Perić, I. (2007). Altered susceptibility of granary weevil *Sitophilus granarius* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) populations to insecticides after selection with pirimiphos-methyl and deltamethrin. *Journal of Stored Products Research*, *43*(2), 134-141.

Levinson, H. Z., & Levinson, A. R. (1985). Storage and insect species of stored grain and tombs in ancient Egypt. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 100(1-5), 321-339.

Linnaeus, C. (1763). *Centuria Insectorum Rariorum*. Uppsala, Sweden: Typis J. Edman.

Liu, N., & Yue, X. (2001). Genetics of pyrethroid resistance in a strain (ALHF) of house flies (Diptera: Muscidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 70 (3), 151–158.

Longstaff, B. C. (1991). An experimental study of the fitness of susceptible and resistant strains of *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) exposed to insecticide. *Journal of Stored Products Research*, 27(1), 75-82.

Mallet, J. (1989). The evolution of insecticide resistance: have the insects won?. *Trends in ecology & evolution*, 4(11), 336-340.

Manal A, A., Trandil, F. W., Marwa, I. M., & MS, S. (2017). Resistance status and associated resistance mechanisms to certain insecticides in rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, *62*(4), 331-340.

Mansoor-ul-Hasan, A. A., Jafir, M., Javed, M. W., Shehzad, M., Chaudhary, M. Z., & Aftab, M. (2017). Effect of temperature and relative humidity on development of *Sitophilus oryzae* L.(Coleoptera: Curculionidae). *J. Entomol. Zool. Stud*, 5(6), 85â.

Mazoyer, M., & Roudart, L. (2006). *A history of world agriculture: from the neolithic age to the current crisis*. NYU Press.

Metcalf, R. L. (1989). Insect resistance to insecticides. *Pesticide science*, 26(4), 333-358.

Munro, J. W. (1966). *Pests of stored products*.

Neethu, P., Varghese, T. S., Anitha, N., George, T., & Kumar, T. S. (2023). Studies on Resistance Development and Detoxification Enzyme of Rice Weevil, *Sitophilus oryzae* to Insecticides. *Pesticide Research Journal*, *35*(2), 207-213.

Nguyen, T. T., Collins, P. J., & Ebert, P. R. (2015). Inheritance and characterization of strong resistance to phosphine in *Sitophilus oryzae* (L.). *PloS one*, *10*(4), e0124335.

Oberemok, V. V., Laikova, K. V., Gninenko, Y. I., Zaitsev, A. S., Nyadar, P. M., & Adeyemi, T. A. (2015). A short history of insecticides. *Journal of Plant Protection Research*, 55(3).

Okram, S., & Hath, T. K. (2019). Biology of *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) on stored rice grains during different seasons in Terai agro-ecology of West Bengal. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 8, 1955-1963.

Omar, Y. M. M. (2012). Morphological studies on some external and internal structures of rice weevil, *Sitophilus oryzae* (l.)(Coleoptera: Curculionidae), a major pest of the stored cereals in Egypt. *Journal of Plant Protection and Pathology*, *3*(8), 843-863.

Özdemir, E., İnak, E., Evlice, E., Yüksel, E., Delialioğlu, R. A., & Susurluk, I. A. (2021). Effects of insecticides and synergistic chemicals on the efficacy of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) against *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Crop Protection*, 144, 105605.

Paudyal, S., Opit, G. P., Arthur, F. H., Bingham, G. V., & Gautam, S. G. (2016). Contact toxicity of deltamethrin against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) adults. *Journal of Economic Entomology*, *109*(4), 1936-1942

Pawlak, K., & Kołodziejczak, M. (2020). The role of agriculture in ensuring food security in developing countries: Considerations in the context of the problem of sustainable food production. *Sustainability*, 12(13), 5488.

Perez-Mendoza, J. (1999). Survey of insecticide resistance in Mexican populations of maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *35*(1), 107-115.

Phillips, T. W., & Throne, J. E. (2010). Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual review of entomology*, 55(1), 375-397.

Pimentel, D., Huang, X., Cordova, A., & Pimentel, M. (1997). Impact of population growth on food supplies and environment. *Population and environment*, 19(1), 9-14.

POLO-PC, A. (1987). User's Guide to Probit or Logit Analysis. *LeOra Software, Berkeley, CA*.

Rajendran, S. (2020). Insect pest management in stored products. *Outlooks on Pest Management*, 31(1), 24-35.

Ribeiro, B. M., Guedes, R. N. C., Oliveira, E. E., & Santos, J. P. (2003). Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *39*(1), 21-31.

Rojasara, A. D., & Patel, D. R. (2020). Biology of rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.). *Indian Journal of Entomology*, 82(3), 595-597.

Roush, R.T., & McKenzie, J.A. (1987). Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annual Review of Entomology*, 32, 361–380.

Roush, R.T., Combs, R., Randolph, T., Macdonald, J., & Hawkins, J. (1986). Inheritance and effective dominance of pyrethroid resistance in the horn fly (Diptera: Muscidae). *Journal of Economic Entomology*, 79 (5), 1178–1182.

Sánchez-Bayo, F. (2011). Impacts of agricultural pesticides on terrestrial ecosystems. *Ecological impacts of toxic chemicals*, 2011, 63-87.

Sayyed, A.H., Attique, M.N.R., Khaliq, A., & Wright, D.J. (2005). Inheritance of resistance and cross-resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* 61 (7), 636–642.

Sayyed, A.H., Pathan, A.K., & Faheem, U. (2010). Cross-resistance, genetics and stability of resistance to deltamethrin in a population of *Chrysoperla carnea* from Multan, Pakistan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 98 (3), 325–332.

Shankar, U., & Abrol, D. P. (2012). Integrated pest management in stored grains. In *Integrated pest management: principles and practice* (pp. 386-407). Wallingford UK: CABI.

Singh, S. K., Jagadeesan, R., Thangaraj, S. R., Selvapandian, U., Nayak, M. K., & Subbarayalu, M. (2021). Phenotypic and molecular analyses in rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L inneaus)(Coleoptera: Curculionidae): identification of a super kdr mutation, T929I, conferring resistance to deltamethrin. *Pest Management Science*, 77(7), 3289-3299.

Soderlund, D. M., & Bloomquist, J. R. (1989). Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annual review of entomology*, 34, 77-96.

Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry*: The principles and practice of statistics in biological research (3rd ed.). W. H. Freeman and Company.

Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide biochemistry and physiology*, *121*, 122-128.

Stathas, I. G., Sakellaridis, A. C., Papadelli, M., Kapolos, J., Papadimitriou, K., & Stathas, G. J. (2023). The effects of insect infestation on stored agricultural products and the quality of food. *Foods*, 12(10), 2046.

Stone, B. (1968). A formula for determining degree of dominance in cases of monofactorial inheritance of resistance to chemicals. *Bulletin of the World Health Organization*, *38*(2), 325.

Suleiman, R. A., & Rosentrater, K. A. (2022). Grain storage in developing countries. In *Storage of cereal grains and their products* (pp. 113-133). Woodhead Publishing.

Susurluk, H. (2008). İki benekli kırmızıörümcek *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae)'de piretroit insektisitlere karşı oluşan direncin moleküler karakterizasyonu. Doktora Tezi.

Ünar, Ş. (2021). Hititlerde bir risk yönetimi olarak tahıl depolama. *Kafdağı*, 6(2), 180-204.

Wang, C. C., Huang, Y., Wen, S. Q., Chen, C., Jin, L., & Li, H. (2013). Agriculture driving male expansion in Neolithic Time. *arXiv preprint arXiv:1311.6857*.

Weisdorf, J. L. (2005). From foraging to farming: explaining the Neolithic Revolution. *Journal of Economic surveys*, 19(4), 561-586.

Whalon, M. E., Mota-Sanchez, D., & Hollingworth, R. M. (2008). Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In *Global pesticide resistance in arthropods* (pp. 5-31). Wallingford UK: CABI.

Yaraşır, O. N., Ergene, E., Bütüner, A. K., Susurluk, H., & Susurluk, A. (2024). Pathogenicity of the *Steinernema feltiae* TUR-S3 (Rhabditida: Steinernematidae) Isolate on *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, *11*(2), 409-416.

Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, *11*(1), 100410.

Zvelebil, M., & Pluciennik, M. (2011). Historical origins of agriculture. *The Role Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*, 41-78.